

[94] 鉛直接合部の面外拘束効果に関する実験

正会員 望月 重 (武蔵工業大学工学部)
 正会員 ○梅宮 良之 (武蔵工業大学大学院)

1. はじめに

プレキャスト鉄筋コンクリート構造鉛直接合部に作用すると予想される応力は多種多様であるが、接合部設計において最も重要なのはせん断力である。そして、鉛直接合部のせん断耐力の評価には拘束効果が大きく影響している。十字型鉛直接合部ではせん断ひび割れが直交壁によっても拘束されることから、本研究はこの直交壁による面外拘束効果を解明し、あわせてせん断抵抗機構の重ね合せにより面外拘束効果を考慮した鉛直接合部のせん断耐力式を提案しようとするものである。なお、せん断抵抗機構要素としてはコッターによる接合コンクリートの直接せん断効果、鉄筋のダボ効果、鉄筋の応力による摩擦効果を考慮している。

2. 鉛直接合部のせん断実験

2.1 実験計画

十字型鉛直接合部を想定し、図. 1 に示すように、試験体は平面的には十字型の、直交壁のあるS型試験体を用いる。そして、この直交壁の変位拘束を面外拘束とした。試験体の種類を表. 1 に示す。シリーズCSBはコッター、接合筋を、シリーズSは接合筋のみをまたシリーズCBはコッターのみを有している。なお、シリーズCSBは接合コンクリートの直接せん断効果、鉄筋のダボ効果、鉄筋の応力による摩擦効果全体に対するまたシリーズSは鉄筋のダボ効果のみに対する面外拘束効果を評価するための試験体である。シリーズCBは接合コンクリートの直接せん断効果を評価するための試験体である。使用材料の性質を表. 2 に示す。なお、接合部はPC部打設後4日目に打設した。加力装置を図. 1 に示す。各試験体番号1のものは単調増載荷によりまた各試験体番号2,3,4のものは最大耐力後の性状をより明確にするため一方向繰り返し載荷により行った。直交壁に対する変位拘束はPC鋼棒により行いPC鋼棒の位置保持のため若干の張力を与えた。コンクリート面での平均垂直応力度に換算すると0.52kg/cm²である。測定は接合部のすべり方向変位とすべり方向に対して直交方向の分離方向変位を変位計(測定範囲25mm,感度1/500mm)にてまた接合筋の応力状態を求めるためひずみゲージを貼付した。

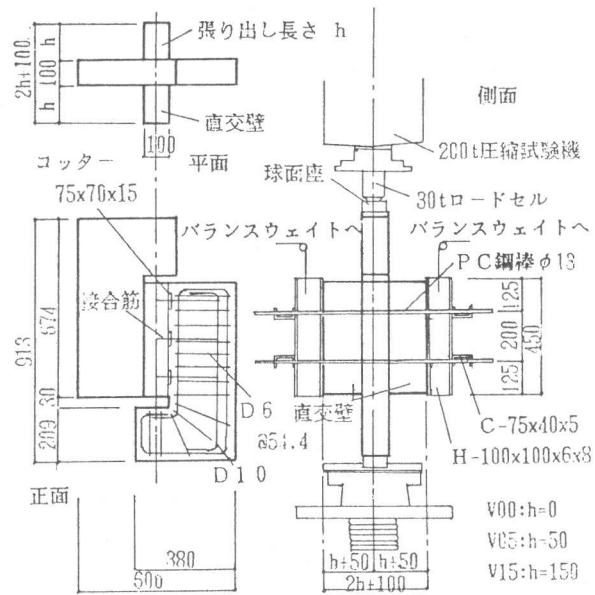


図. 1 試験体および加力装置 (単位 mm)

表. 1 試験体の種類

シリーズ	試験体名	張り出し長さd(cm)	変位拘束	コッターAsc(cm ²)	接合筋As(cm ²)	せん断抵抗機構
CSB	V00-CSB-1,2,3	0	無	157.5	2.1	C,D,F
	V00-CSB-4	0	無	105.0	1.43	C,D,F
	V05-CSB-1,2	5	有	157.5	2.14	C,D,F
	V05-CSB-4	5	有	105.0	1.43	C,D,F
	V15-CSB-1,2	15	有	157.5	2.14	C,D,F
	V15-CSB-4	15	有	105.0	1.43	C,D,F
S	V00-S-1,2	0	無	—	2.14	D
	V05-S-1,2	5	有	—	2.14	D
	V15-S-1,2	15	有	—	2.14	D
CB	V00-CB-1,2	0	無	157.5	—	C

接合面の状態 CSB, CB: 15mm耐水ベニヤ打ち放し面, S: 0.3mm塩化ビニール板挿入
 せん断抵抗機構 C: 接合コンクリートの直接せん断効果, D: 鉄筋のダボ効果
 F: 鉄筋の応力による摩擦効果

表. 2 使用材料の性質

コンクリート				
試験体名	スランプ値(cm)	圧縮強度(kg/cm ²)	引張強度(kg/cm ²)	ヤング率(×10 ⁵ kg/cm ²)
V00, V05, V15-CSB-1	21.5	402	31.4	2.63
V00-CSB-2,3	22.0	336	29.3	2.53
V05, V15-CSB-2	21.5	448	33.3	2.47
V00, V05, V15-CSB-4	21.4	289	30.4	2.48
V00, V05, V15-S-1	22.5	398	31.5	2.60
V00, V05, V15-S-2	22.5	434	41.2	2.53
V00-CB-1,2	21.8	380	41.2	2.53

セメント: 普通ポルトランドセメント, 細骨材: 最大寸法 25mm F.M.値 2.24
 粗骨材: 最大寸法 15mm, 水セメント比: PC-55% J-60%
 細骨材率: PC-41% J-44%

2. 2 実験結果

図. 2 に荷重-すべり方向変位曲線を示す。また、表. 3 に接合面に沿ったひび割れ発生時、接合部せん断ひび割れ発生時、最大荷重時の平均せん断強度 τ 、すべり方向変位 D_{sl} 、分離方向変位 D_{sp} を示す。なお、接合面に沿ったひび割れ発生時および接合部せん断ひび割れ発生時は目視によりひび割れが観察された時点进行を言う。また、最大荷重時はせん断载荷に対して初めて耐力低下を生じた時点进行を言う。なお、シリーズCBはほとんど変位を示さずコッターの直接せん断破壊をしたため、この時の荷重を接合部せん断ひび割れ発生荷重とした。図. 3 は荷重-PC鋼棒ひずみ曲線を示したものである。シリーズCSB およびSともV05とV15の差は見られず、最大荷重時のひずみの値はシリーズCSBで約 20×10^{-6} 、シリーズSで約 6×10^{-6} であり、初期値を加えた平均垂直応力度に換算するとそれぞれ1.01, 0.67 kg/cm^2 である。

破壊経過は、シリーズCSBでは $\tau_{jc}=11 \sim 20 \text{kg/cm}^2$ で接合面にひび割れが発生し、 $\tau_{sc}=16 \sim 35 \text{kg/cm}^2$ でコッター付近にせん断ひび割れが発生した。そして、せん断ひび割れが他方の接合面および直交壁の端部に達し最大耐力に達した。なお、V05-CSB-4, V15-CSB-4に関しては、直交壁にせん断ひび割れの進展は見られなかった。最大耐力後急激に荷重が低下し変形が進むが、 $D_{sl}=4 \text{mm}$ 付近で荷重は安定した。シリーズSでは $\tau_{jc}=5 \sim 7 \text{kg/cm}^2$ で接合面にひび割れが発生し、 $\tau_{sc}=6 \sim 12 \text{kg/cm}^2$ で接合筋の位置にせん断ひび割れが発生した。このせん断ひび割れの水平方向に対する傾きはシリーズCSBと比較して小さく、ダボ割裂ひび割れと考えられる。最大耐力後V00は若干耐力低下を示したが、他の試験体は耐力低下を示すことなく、わずかでわあるが荷重は増加し終局に達した。破壊モードは、シリーズCSBは接合部のせん断ひび割れ破壊、シリーズSはダボ割裂ひび割れ破壊、シリーズCBはコッターの直接せん断破壊である。

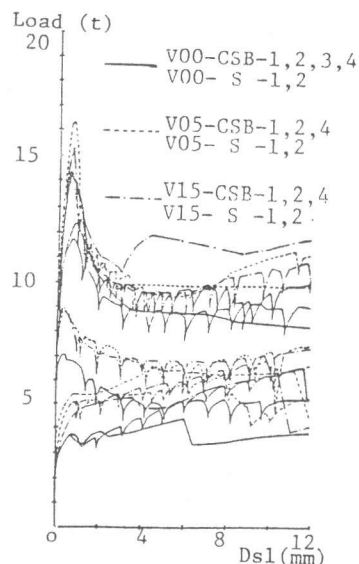


図. 2 荷重-すべり方向変位曲線

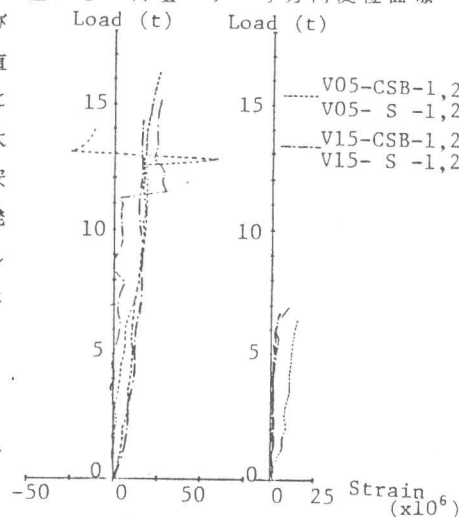


図. 3 荷重-PC鋼棒ひずみ曲線

表. 3 実験結果

試験体名	τ_{jc} (kg/cm^2)	$D_{sl \cdot jc}$ (mm)	$D_{sp \cdot jc}$ (mm)	τ_{sc} (kg/cm^2)	$D_{sl \cdot sc}$ (mm)	$D_{sp \cdot sc}$ (mm)	τ_{max} (kg/cm^2)	$D_{sl \cdot max}$ (mm)	$D_{sp \cdot max}$ (mm)
V00-CSB-1	14.37	0.012	0.008	21.84	0.19	0.02	32.76	0.52	0.18
V00-CSB-2	13.79	0.026	0.012	23.56	0.27	0.09	28.18	0.88	0.25
V00-CSB-3	12.07	0.006	0.003	21.26	0.13	0.09	26.97	0.74	0.29
V00-CSB-4	11.49	0.004	0.006	16.09	0.30	0.18	16.21	0.44	0.23
V05-CSB-1	16.67	0.006	0.006	31.61	0.47	0.12	32.09	0.61	0.16
V05-CSB-2	17.24	0.016	0.018	35.06	0.43	0.18	37.40	0.71	0.26
V05-CSB-4	15.52	0.005	0.003	20.11	0.37	0.21	20.11	0.37	0.21
V15-CSB-1	20.69	0.056	0.022	34.48	0.53	0.18	35.06	0.67	0.22
V15-CSB-2	17.82	0.044	0.016	30.80	0.35	0.14	33.01	0.58	0.23
V15-CSB-4	18.97	0.118	0.091	20.48	0.29	0.13	20.48	0.29	0.13
V00-S-1	5.17	0.095	0.003	8.06	0.52	0.02	8.62	0.69	0.04
V00-S-2	5.17	0.108	0.005	6.32	0.20	0.02	8.67	0.83	0.03
V05-S-1	6.32	0.018	0.008	11.49	0.46	0.46	12.48	0.91	0.10
V05-S-2	6.90	0.062	0.022	14.25	7.77	0.71	11.70	1.05	0.09
V15-S-1	6.90	0.181	0.048	12.07	3.24	0.30	10.92	1.05	0.09
V15-S-2	7.47	0.158	0.029	10.92	2.22	0.28	11.72	0.99	0.13
V00-CB-1	5.17	0.000	0.001	14.14	0.003	0.004	-----	-----	-----
V00-CB-2	14.37	0.008	0.000	15.52	0.009	0.004	-----	-----	-----

jc:接合面に沿ったひび割れ発生時 sc:接合部せん断ひび割れ発生時 max:最大荷重時

3. 面外拘束効果

図-4,5,6 は最大荷重時の平均せん断強度, すべり方向変位, 分離方向変位と直交壁の張り出し長さとの関係をプロットしたものである。シリーズCSBおよびSとも面外拘束のないものに対し面外拘束のある試験体の平均せん断強度は高くなっている。すべり方向変位および分離方向変位に関して, シリーズCSBでは面外拘束の有無による相関は見られないが, 同じ張り出し長さの試験体のすべり方向変位および分離方向変位の平均値はそれぞれ 0.67 ± 0.04 , 0.23 ± 0.02 でありほぼ一定と考えられる。また, シリーズSでは面外拘束のないものに対して面外拘束のある試験体のすべり方向変位および分離方向変位はわずかであるが大きい。なお, シリーズCSBでは試験体番号4のものが各値とも小さくなっているが, これはコッターおよび接合筋の数が少ないためである。以上述べたようにシリーズCSBおよびシリーズSとも全体的な傾向としては, 各変位はともに面外拘束による差はなくほぼ一定である。また, 面外拘束のないものに対して面外拘束ある試験体の最大平均せん断強度が大きくなっている。図-7は荷重-接合筋ひずみ曲線を示したものであり, 同荷重時における接合筋のひずみの値は面外拘束のないものに対して面外拘束のある試験体の方が小さくなっている。したがって, 鉛直接合部の最大耐力を決定する一つの要因はすべり方向変位および分離方向変位であり, それがある値に達すると接合筋が降伏に至り最大耐力に達するといえる。そして, 面外拘束を受ける試験体の各変位がおさえられることにより, 最大荷重に達するまでの同荷重時の接合筋のひずみの値が小さくなるため最大耐力が増大すると考えられる。

4. 面外拘束効果を考慮したせん断耐力式の提案

4.1 面外拘束を受けない鉛直接合部のせん断耐力式

鉛直接合部のせん断耐力の評価を各せん断抵抗機構の重ね合せにより行うため既往の提案式^{1),2),3)}を各シリーズの実験結果により検討した。その結果, 面外拘束を受けない鉛直接合部のせん断耐力式として次式を用いる。

$$V_{max} = 0.09f_c A_{sc} + C' \mu f_y A_s + 1.48 A_s \sqrt{f_y f_c} \quad (1)$$

ここで, f_c はコンクリートの圧縮強度, f_y は鉄筋の降伏点強度, A_{sc} はコッターの断面積, A_s は鉄筋の断面積, μ は摩擦係数, 一般に滑らかなコンクリートとコンクリートの打設面に対して用いられる値0.7を用いる。

(1)式の第1項, 第2項および第3項はそれぞれ接合コンクリートの直接せん断効果, 鉄筋の応力による摩擦効果, 鉄筋のダボ効果に対する項である。第1項に対してはシリーズCBの実験結果また第3項に対してはシリーズSの中で面外拘束のないV00の実験結果により検討した。鉄筋の応力による摩擦効果はせん断摩擦理論によると鉄筋は最大耐力時に降伏していると仮定されている。

しかし, 本実験によると一部の鉄筋は降伏に至っていないがすべての鉄筋ではない。また, 既往の研究による摩擦係数には鉄筋のダボ効果も摩擦抵抗の要素として含まれていると考えられる。以上の2点よりせん断摩擦理論を用いるにあたり低減係数 C' を用いる。なお, 低減係数 $C' (=0.64)$ はシリーズCSBの中の面外拘束のない試験体V00の最大耐力より接合コンクリートの直接せん断効果および鉄筋のダボ効果を差し引いたものが鉄筋の応力によ

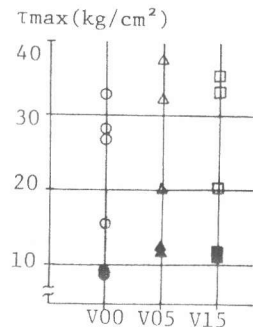


図. 4 平均せん断強度

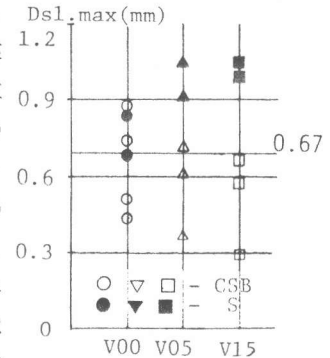


図. 5 すべり方向変位

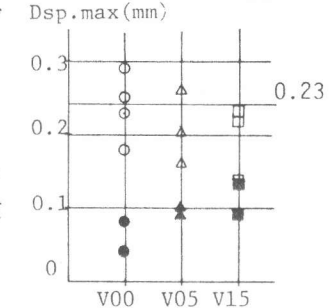


図. 6 分離方向変位

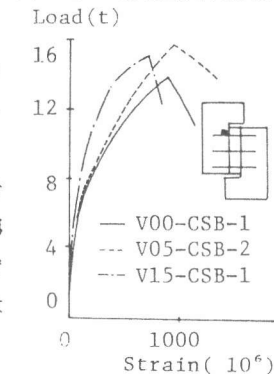


図. 7 荷重 接合筋

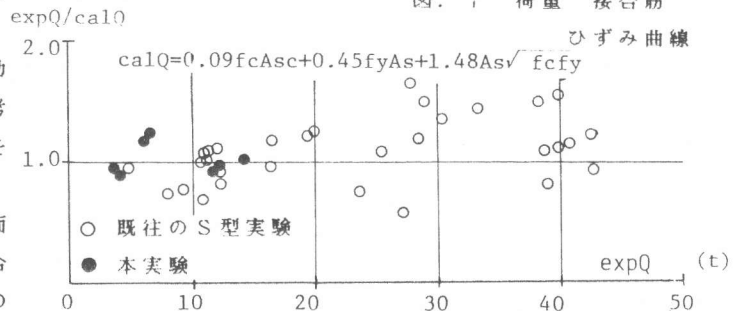


図. 8 既往のS型試験体の実験値と(1)式による計算値の比

る摩擦効果であるとして求めたものである。図. 8 は既往の研究によるS型試験体の実験値と(1)式による計算値との比を示したものであり、ほぼ(1)式が妥当であることを示している。

4. 2 面外拘束係数

シリーズSの実験結果より面外拘束が鉄筋のダボ効果を強めることが示されており、まず鉄筋のダボ効果に対する面外拘束係数を考える。接合部の壁厚に対する直交壁の張り出し長さの比でコンクリートの拘束が強くなると考え、シリーズSの実験結果を基に最小二乗法により面外拘束係数を求めると次のようになる。

$$V' = C 1.48 A_s \sqrt{f_y f_c} \quad C = 0.59 + 0.41 \sqrt{t'/t} \quad (1 \leq t'/t \leq 2.5) \quad (2)$$

ここで、 t =接合部の壁厚、 t' =接合部の壁厚+直交壁の張り出し長さ/2、 t' には適用限界があると考えられるため、本実験の範囲とした。

鉄筋の応力による摩擦効果に対して考察する。面外拘束により接合面の状態は変わらないため、接合面の摩擦係数が面外拘束により大きくなるとは考えられない。また、鉄筋の降伏点強度が面外拘束により高くなるとは考えられない。したがって、鉄筋の応力による摩擦効果に対する面外拘束の影響はないとする。

次に、接合コンクリートの直接せん断効果に対する面外拘束の影響を考察するため、ダボ効果に対してのみ面外拘束係数を考慮した式を次のように示す。

$$V = 0.09 f_c A_{sc} + 0.45 f_y A_s + C 1.48 A_s \sqrt{f_y f_c} \quad C = 0.59 + 0.41 \sqrt{t'/t} \quad (1 \leq t'/t \leq 2.5) \quad (3)$$

シリーズCSBの(3)式による計算値と実験値を表-4に示す。計算値と実験値はほぼ一致しており、接合コンクリートの直接せん断効果に対する影響はないと考えられる。したがって、面外拘束を考慮した鉛直接合部のせん断耐力式としては(3)式が提案される。

表. 4 シリーズCSBの計算値と実験値

試験体名	f_c	f_y	A_{sc}	A_s	$0.09 A_{sc} f_c$	$0.45 A_s f_y$	$1.48 A_s \sqrt{f_y f_c}$	$calQ$	$expQ$	$expQ/calQ$
	kg/cm ²	kg/cm ²	cm ²	cm ²	t	t	t	t	t	—
V00-CSB-1	402	4192	157.5	2.14	5.70	4.04	4.11	14.21	14.25	1.00
V00-CSB-2	336	4192	157.5	2.14	4.76	4.04	3.76	12.56	12.26	0.98
V00-CSB-3	336	4192	157.5	2.14	4.76	4.04	3.76	12.56	11.73	0.93
V00-CSB-4	289	4066	105.0	1.43	2.73	2.62	2.29	7.64	7.05	0.92
V05-CSB-1	402	4192	157.5	2.14	5.70	4.04	4.48	14.22	13.96	0.98
V05-CSB-2	448	4192	157.5	2.14	6.35	4.04	4.73	15.12	16.27	1.08
V05-CSB-4	289	4066	105.0	1.43	2.73	2.62	2.50	7.85	8.75	1.11
V15-CSB-1	402	4192	157.5	2.14	5.70	4.04	5.10	14.84	15.25	1.03
V15-CSB-2	448	4192	157.5	2.14	6.35	4.04	5.38	15.77	14.36	0.91
V15-CSB-4	289	4066	105.0	1.43	2.73	2.62	2.84	8.19	8.91	1.09
$calQ = 0.09 A_{sc} f_c + 0.45 A_s f_y + C 1.48 A_s \sqrt{f_y f_c}$										

5. 結論

本実験により次のような結論が得られた。面外拘束により、1). 鉛直接合部のせん断耐力が増加する。2). 鉄筋のダボ効果が強化される。3). 面外拘束を考慮した鉛直接合部のせん断耐力式が提案される。

[参考文献] 1). K.Hansen, 他 ; Design of Vertical Keyed Shear Joint in Large Panel Buildings, Building Research and Practice, July-August 1974, pp.202-205. 2). E.W.Bennett; Strength of Beam Columu Connections With Dowel Reinforcement, The Structural Engineer, Vol.54, No.4, April 1976, pp. 133-139. 3). Pume; Load-Bearing Capacity and Deformability of Joint Under Shear and Compression, The RILEM-CEB-CIB Symposium, 1978, Vol.3, pp.99-124.